17/13

Archives of Foundry,
Year 2004, Volume 4, № 13
Archiwum Odlewnictwa,
Rok 2004, Rocznik 4, Nr 13
PAN – Katowice PL ISSN 1642-5308

TECHNOLOGIA NAWĘGLANIA CIEKŁYCH STOPÓW ŻELAZA METODĄ PNEUMATYCZNEGO WDMUCHIWANIA

K. JANERKA[1], D. BARTOCHA[2], J. GAWROŃSKI[3]
Zakład Odlewnictwa Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych
Wydziału Mechanicznego Technologicznego
Politechniki Śląskiej.

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono zagadnienia nawęglania ciekłych stopów żelaza w piecach elektrycznych łukowych i indukcyjnych przy zastosowaniu metody neumatycznego wprowadzania nawęglaczy do kąpieli. Omówiono stanowisko i urządzenia do pneumatycznego wdmuchiwania oraz parametry urządzeń dozujących. Szczególną uwagę zwrócono na oddziaływanie parametrów strumienia dwufazowego na efektywność nawęglania.

Key words: injection, carburization, liquid metal.

1. WPROWADZENIE

Ochrona środowiska w odlewnictwie to m. in. możliwość wykorzystania surowców wtórnych do procesu produkcyjnego takich jak: złom stalowy, pyły z odpylania pieców metalurgicznych a także niskowęglowe odpady tłoczni karoseryjnych oraz blachy karoseryjne z recyklingu. Zwiększenie udziału złomu stalowego przy wytopie żeliwa powoduje deficyt węgla a w konsekwencji konieczność jego uzupełnienia. Można to czynić wieloma sposobami, przy czym skuteczność i powtarzalność metod tradycyjnych jest na ogół niska. Należy do nich nawęglanie w piecu łukowym poprzez narzucanie kawałkowego nawęglacza na powierzchnię i ręczne mieszanie kąpieli metalowej. Jest to metoda tradycyjna o bardzo małej skuteczności i to zarówno jeżeli chodzi o szybkość nawęglania jak i o stopień wykorzystania węgla. Wynika to oczywiście

[1] *Dr inż., janerka@zeus.polsl.gliwice.pl*
[2] *Dr inż., dariusz2@zeus.polsl.gliwice.pl*
[3] *Prof. dr inż., sekrmt3@zeus.polsl.gliwice.pl*

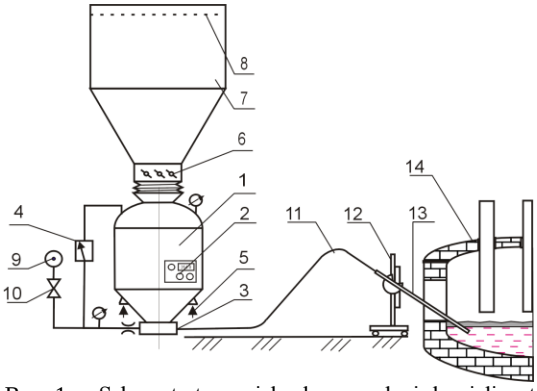
z małej powierzchni styku reagujących faz jak również dużej przypowierzchniowej warstwy dyfuzyjnej będącej następstwem znikomej wartości względnej prędkości metalu i nawęglacza. Uzyskuje się w ten sposób stopień wykorzystania węgla do 30 %, ze stosunkowo małym wskaźnikiem powtarzalności. Kolejna metoda to nawęglanie w kadzi stałym nawęglaczem wsypywanym na jej dno. Jest to metoda skuteczniejsza niż poprzednia ze względu na intensywne mieszanie ciekłego metalu podczas wlewania go do kadzi. Z uwagi na obniżanie temperatury kąpieli metalowej i długi czas trwania procesu jest ona stosowana do uzupełniania węgla jedynie w zakresie 0,1 do 0,2%. Znacznie intensywniej przebiega naweglanie w tyglu pieca indukcyjnego. Wszelkie procesy fizykochemiczne zachodzące w ciekłym metalu znajdującym się w piecu indukcyjnym, przebiegają w warunkach ciągłego ruchu kąpieli. Ponadto ciekły metal można przetrzymywać dowolnie długo w stałej temperaturze. Uzyskuje się tutaj duży stopień stabilizacji warunków procesu nawęglania nieosiągalny w innych piecach do wytapiania. Można uzyskać w ten sposób stopień przyswojenia węgla na poziomie kilkudziesięciu procent (w zależności od typu pieca).

Jedną z metod, która znalazła przemysłowe zastosowanie, jest nawęglanie żeliwa w piecach elektrycznych łukowych za pomocą rozdrobnionego grafitu wprowadzanego w strumieniu gazu nośnego pod lustro ciekłego metalu. Duża powierzchnia styku nawęglacz – ciekły metal, w połączeniu z mieszaniem kąpieli przez gaz nośny powoduje uzyskiwanie bardzo dużych wartości szybkości i efektywności procesu. Można w ten sposób korygować niedobór węgla nawet do 3%, uzyskując efektywność nawęglania do 95%.

2. STANOWISKO DO NAWĘGLANIA

Stanowisko do realizacji procesu nawęglania składa się z kilku układów. Głównym elementem jest zbiornik ciśnieniowy 1 (rys. 1) o pojemności 0,25–1,0 m^3 [1, 2, 3]. W górnej części zbiornik ma zamknięcie dzwonowe, a u dołu komorę mieszania 3. Na zbiorniku zamontowano zawór odpowietrzający, umożliwiający dekompresję zbiornika po zakończeniu każdego cyklu pracy. Ciśnienie powietrza doprowadzanego do zbiornika jest regulowane reduktorem 4. Zasilanie lub odcinanie dopływu powietrza umożliwia zawór główny 10. Wszystkie elektrozawory są uruchamiane z tablicy sterującej 2 zbiornika. Zbiornik jest posadowiony na wadze tensometrycznej 5, której wskazania są wyświetlane na tablicy sterującej 2. Nawęglacz jest przemieszczany przewodem transportowym 11 zakończonym lancą 13, wprowadzaną do pieca łukowego 14. Lancę można umieścić na manipulatorze 12, umożliwiającym jej wprowadzanie do ciekłego metalu. Nad urządzeniem może znajdować się zbiornik 7 materiału nawęglającego o odpowiedniej pojemności. W górnej części zbiornika powinno być umieszczone sito 8, wychwytujące nadziarno i zanieczyszczenia znajdujące się w nawęglaczu. Dolną część zbiornika 7 stanowi zasuwa 6 (szczelinowa lub obrotowa), napędzana siłownikiem pneumatycznym i sterowana z tablicy 2. Pomiędzy zasuwą 6 a podajnikiem komorowym 1 konieczne jest zainstalowanie kompensatora, eliminującego oddziaływanie zbiornika magazynowego na układ ważący.

W części zasilania układu sprężonym powietrzem w wielu przypadkach, z uwagi na złą jakość sprężonego powietrza w sieci zakładowej jest montowany filtr powietrza, eliminujący zanieczyszczenia wodne i olejowe.



Rys. 1. Schemat stanowiska do nawęglania kąpieli metalowej.
Fig. 1. Scheme of the liquid metal carburization stand.

3. NAWĘGLANIE W PIECACH ŁUKOWYCH

W piecach elektrycznych łukowych kąpiel metalowa odznacza się małą głębokością i dużą powierzchnią lustra. Występują w nich strefy intensywnego mieszania w pobliżu elektrod i znacznie większe obszary „martwe" o znikomym ruchu metalu. Powoduje to, że tradycyjne metody nawęglania są mało skuteczne i czasochłonne. Podczas pneumatycznego wprowadzania nawęglacza gaz nośny wymusza ruch ciekłego metalu i powoduje intensywne odprowadzanie substratów ze strefy reakcji, co w konsekwencji przyspiesza proces wymiany masy. Mała głębokość metalu pozwala na wprowadzanie lancy tuż pod lustro kąpieli metalowej, co zmniejsza problem ich termicznego zużywania się. Zamknięta budowa pieca i wysokie sklepienie umożliwiają stosowanie powietrza jako gazu nośnego oraz unikanie efektu rozpryskiwania metalu poza piec.

Skuteczność przebiegu procesu może być określona poprzez efektywność nawęglania (stopień wykorzystania węgla z nawęglacza) wyrażaną zależnością:

$$\eta_c = m_m \frac{\Delta C}{m_c \cdot C_x} \qquad [\%] \tag{1}$$

gdzie: m_m – masa metalu [kg], m_c – masa nawęglacza [kg], ΔC – przyrost zawartości węgla w ciekłym metalu [%], C_x – zawartość węgla w materiale nawęglającym [%].

W tabeli 1 przedstawiono wybrane wyniki pomiarów wykonane w odlewniach, w których pracują urządzenia do pneumatycznego wprowadzania nawęglacza do kąpieli metalowej [4, 5].

Tabela 1. Przyrost zawartości węgla w ciekłym metalu i efektywność nawęglania
Table 1. Carbon content increase in liquid metal and effectiveness of carburization

Lp.	m_m [kg]	t [s]	ΔC[%]	η_C [%]
1	6900	80	0.20	92.7
2	6100	290	1.22	84.9
3	29000	65	0.33	99.7
4	28200	60	0.25	78.3
5	30580	55	0.30	91.7
6	30650	120	0.73	89.5
7	30800	115	0.72	88.7

Przeprowadzone eksperymenty wykazały, że duży wpływ na uzyskiwane wartości szybkości i efektywności procesu mają parametry strumienia dwufazowego. Te z kolei zależą od rozwiązań konstrukcyjnych dozowników. Zastosowane urządzenia umożliwiają sterowanie natężeniem przepływu gazu w zakresie 0,03 - 0,20 kg/s. Jest to parametr mający bezpośredni wpływ (przy ustalonych wielkościach geometrycznych układu) na prędkość wylotową gazu i nawęglacza z lancy, a w konsekwencji na dynamikę strumienia. Muszą one zapewniać równomierne przemieszczanie się materiału nawęglającego, odpowiednią głębokość jego wnikania do ciekłego metalu i intensywność mieszania kąpieli.

Natężeniem przepływu materiału można sterować w zakresie m_{mn}=0,10–2,0 kg/s. Mała wydajność urządzenia powoduje wzrost efektywności nawęglania ale wydłuża czas wdmuchiwania i zwiększa spadek temperatury ciekłego metalu. Duża wartość tego parametru sprawia, że część nawęglacza nie zostaje przyswojona przez ciekły metal i wypływa na powierzchnię. Jest to, więc również istotny parametr realizowanego procesu. Oczywiście wartość tych dwóch parametrów zależy także od wielkości jednostki piecowej i geometrii rurociągu transportowego. Źle dobrane natężenie przepływu gazu i materiału powoduje spadek efektywności nawęglania do poziomu 40 – 50%.

Istotny wpływ na efektywność nawęglania mają także właściwości materiału nawęglającego, a szczególnie zawartość w nim węgla i popiołu, jego ziarnistość i jednorodność. Nie ulega wątpliwości, że materiały te powinny być drobnoziarniste o zawartości węgla powyżej 95 %. Potwierdziły to eksperymenty, przeprowadzone z zastosowaniem kilku nawęglaczy, które wykazały iż dla podobnych parametrów pneumatycznego przemieszczania i właściwości ciekłego metalu efektywność nawęglania może się zmieniać w zakresie od kilku do kilkunastu procent.

4. NAWĘGLANIE W PIECACH INDUKCYJNYCH

Nawęglanie w piecach indukcyjnych jest zagadnieniem znacznie bardziej skomplikowanym. Składa się na to budowa (duża głębokość ciekłego metalu przy małej średnicy) oraz rodzaj pieca. W piecach częstotliwości sieciowej ruch ciekłego metalu jest intensywny i nawęglanie nie stanowi większego problemu. Natomiast w piecach

średniej częstotliwości zagadnienie nawęglania staje się problematyczne ze względu na bardzo małą intensywność cyrkulacji kąpieli metalowej. Producenci pieców oferują obecnie nowe rozwiązania pieców o dwu częstotliwościach zasilania (większej do topienia i mniejszej do prowadzenia procesu nawęglania).

Nawęglanie metodą wdmuchiwania nawęglaczy do kąpieli nie jest również w tym przypadku sprawą prostą. Potwierdziły to próby przeprowadzone w warunkach przemysłowych. Uzyskane w ten sposób doświadczenia dały wytyczne do realizacji badań w warunkach laboratoryjnych i przeniesienia ich do procesów produkcyjnych. Przede wszystkim jako gaz nośny należy zastosować gazy obojętne (argon lub azot). Ogranicza to w znacznym stopniu zjawiska niekorzystnego rozpryskiwania metalu. Dotyczy to również zmniejszenia do koniecznego minimum natężenia przepływu gazu (zapewniającego jednocześnie odpowiednią dynamikę strumienia). Należy również zastosować mniejsze natężenia przepływu materiału, aby zapewnić jak największe przyswojenie węgla w trakcie procesu wdmuchiwania, a nie jego wypływanie na powierzchnię. Prawidłowy przebieg procesu wiąże się z zanurzaniem lancy na większą głębokość, co z kolei powoduje konieczność jej ochrony przed stapianiem.

W Zakładzie Odlewnictwa Politechniki Śląskiej przeprowadzono próby nawęglania ciekłego metalu w piecu indukcyjnym o pojemności 30 kg. Proces nawęglania prowadzono po stopieniu złomu stalowego o zawartości 0,21%C. Gazem nośnym był argon. Po wprowadzeniu stałej porcji naweglacza pobierano próbkę do analizy chemicznej i powtórnie wdmuchiwano kolejną porcję nawęglacza. Uzyskane wyniki badań przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki nawęglania ciekłego metalu w piecu indukcyjnym
Table 2. Results of recarburisation in inductive furnace

Lp.	m_m [kg]	C_p[%]	C_k[%]	ΔC[%]	η_C [%]
1	14	0,21	0.70	0,49	77,8
2	14	0,70	1.23	0,53	84.1
3	14	1,23	1.80	0,57	90,5
4	14	1,80	2,35	0,55	87,3
5	14	2,35	2,89	0,54	85,7
6	14	2,89	3,28	0,39	61,9
7	14	3,28	3,68	0,40	63,5
8	14	3,68	4,06	0,38	60,3
9	14	4,06	4,53	0,51	80,9

Przeprowadzone eksperymenty wykazały możliwość nawęglania ciekłego metalu w piecu indukcyjnym. Średnia efektywność nawęglania wyniosła η_C=78%, a końcowa zawartość węgla 4,53%.

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Uzyskane na przestrzeni kilku lat doświadczenia wykazują, że metoda nawęglania przez pneumatyczne wprowadzanie nawęglaczy do ciekłych stopów żelaza pozwala na osiągnięcie dużych wartości przyrostu węgla w krótkim czasie przy wytopie zarówno żeliwa jak i staliwa. Umożliwia ona produkcję żeliwa bez udziału surówki. W tym przypadku znaczną część nawęglacza należy dodać do wsadu na dno pieca, a metodę pneumatycznego wprowadzania grafitu stosować do uzupełniania niedoboru węgla. Pozwala to na skrócenie czasu wytopu oraz obniżenie kosztów w porównaniu z przetapianiem samego złomu stalowego i całkowitym nawęglaniem metodą wdmuchiwania.

Mimo występujących obecnie problemów z wzrastającymi cenami i zakupem złomu stalowego stosowanie tej metody jest nadal opłacalne ze względu na rosnące również ceny i dostępność surówki.

LITERATURA

[1] K. Janerka, D. Bartocha: *Pneumatyczne naweglanie przy produkcji żeliwa syntetycznego*. Mat. Międz. Konf. Współpraca 2004, Tatranska Lomnica, 2004.

[2] K. Janerka, S. Jura, H. Szlumczyk, J. Jezierski, D. Homa: *Urządzenia do nawęglania kąpieli metalowej w piecach łukowych*. Krzepniecie Metali i Stopów, PAN Katowice, vol. 1, nr 39, 1999, s. 113-120.

[3] K. Janerka: *Nawęglanie ciekłych stopów żelaza za pomocą urządzeń pneumatycznych*. Praca doktorska, Gliwice 1995.

[4] M. Kanafek, D. Homa, K. Janerka: *Nawęglanie żeliwa w Odlewni TEKSID Poland S. A. za pomocą urządzenia pneumatycznego POLKO*. Przegląd Odlewnictwa, 1999, nr 7.

[5] J. Kokoszka, J. Markowski, K. Janerka, J. Jezierski, D. Homa, W. Chmielorz: *Pmeumatyczne nawęglanie żeliwa w warunkach WSK "PZL - RZESZÓW" S.A.* Krzepnięcie Metali i Stopów, PAN Katowice, v.1, nr 41, 1999, s. 53-58.

Badania wykonano w ramach realizacji projektu badawczego Nr 4 T08B 038 23 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych.

TECHNOLOGY OF LIQUID FERROUS ALLOYS RECARBURISATION WITH PNEUMATIC INJECTION METHOD

SUMMARY

In article the problems of liquid ferrous alloys recarburisation in electric arc and inductive furnaces with pneumatic injection method have been presented. The stand and equipment for pneumatic injection as well as parameters of feeding device have been discussed. Especially attention has been taken on influence of diphase jet parameters on effectiveness of recarburisation.

Recenzent: prof. zw. dr hab. inż. Czesław Podrzucki.